Les fourmis détiennent-elles la clé du carburant du futur ?

Bac S 2013 Nouvelle-Calédonie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Donner trois arguments indiquant que l'acide formique serait plus avantageux que l'hydrogène dans les véhicules du futur.

D'après le texte :

- **sécurité** : l'acide formique est très peu inflammable, alors que le dihydrogène est extrêmement inflammable et explosif ;
- **compacité** : à volume égal, il stocke presque deux fois plus d'hydrogène (53 g par litre contre 28 g pour le gaz comprimé à 350 bars), sans réservoir pressurisé lourd et volumineux ;
- **facilité de remplissage** : il est liquide à température ambiante, donc le plein se fait à la pompe, simplement et rapidement.

Trois avantages : stockage plus sûr, plus compact, plein plus simple.

MÉTHODE
Dans une question documentaire, chaque argument s'appuie sur une information précise du texte (ici, si possible, les valeurs chiffrées) et se rédige par comparaison : « l'acide formique…, alors que le dihydrogène… ».

1.2 Démontrer que l'affirmation « un litre d'acide formique peut libérer par une transformation chimique plus de 53 grammes d'hydrogène » est vraie.

Données utiles $d_{AH} = 1{,}22$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}0\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $M_H = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_O = 16{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_C = 12{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Le texte indique que l'acide formique se décompose totalement en dioxyde de carbone et en dihydrogène :

$$\text{HCO}_2\text{H} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$$

Masse d'un volume $V = 1{,}0$ L d'acide formique : $m_{AH} = d_{AH}\,\rho_{\text{eau}}\,V = 1{,}22 \times 1{,}0 \times 1{,}0 = 1{,}22\ \text{kg} = 1{,}22 \times 10^3\ \text{g}$.

Masse molaire : $M_{AH} = 2M_H + M_C + 2M_O = 2 \times 1{,}0 + 12{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 46{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

La transformation est totale et une mole d'acide libère une mole de dihydrogène : $n(\text{H}_2) = n_{AH} = \dfrac{m_{AH}}{M_{AH}}$.

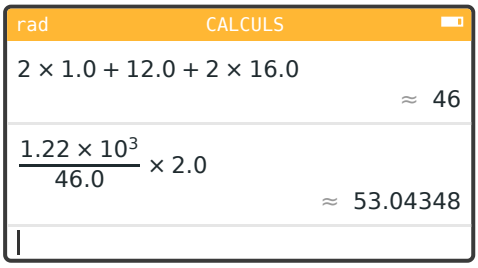
$$m(\text{H}_2) = \frac{d_{AH}\,\rho_{\text{eau}}\,V}{M_{AH}} \times 2M_H = \frac{1{,}22 \times 10^3}{46{,}0} \times 2{,}0 = 53\ \text{g}$$

$m(\text{H}_2) = 53$ g (53,04 g avant arrondi) : un litre d'acide formique peut bien libérer 53 g d'hydrogène, l'affirmation est vraie.

PIÈGE
Garder la masse en kilogrammes avec des masses molaires en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: on trouverait 0,053 sans voir qu'il s'agit de kilogrammes. Convertir 1,22 kg en grammes avant de diviser.

COMPRENDRE
Le résultat s'écrit avec deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($\rho_{\text{eau}} = 1{,}0\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$). Le mot « hydrogène » du texte désigne le gaz dihydrogène H_2.

À LA CALCULATRICE

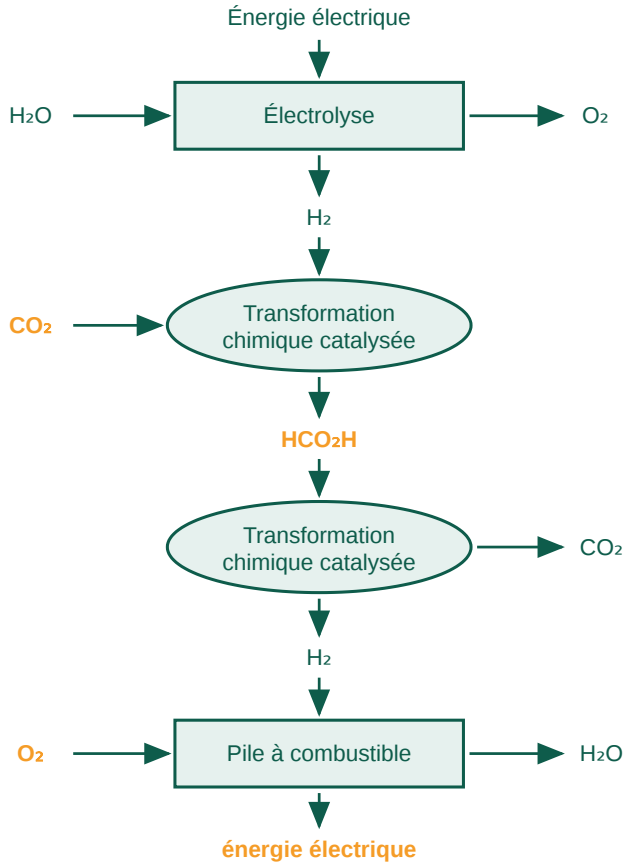


1.3 Compléter la chaîne des conversions d'énergie et des transformations chimiques de l'annexe avec les termes : CO_2, énergie électrique, O_2, HCO_2H.

- Première transformation catalysée (stockage) : le dihydrogène réagit avec CO_2 pour former HCO_2H.
- Seconde transformation catalysée (déstockage) : HCO_2H redonne CO_2 et H_2.
- Pile à combustible : elle consomme H_2 et O_2, forme de l'eau et fournit de l'énergie électrique.

De haut en bas : CO_2 (entrée de la première transformation), HCO_2H (son produit), O_2 (entrée de la pile), énergie électrique (sortie de la pile).

COMPRENDRE
La chaîne est symétrique : l'électrolyse consomme de l'énergie électrique et de l'eau en libérant O_2 ; la pile fait l'inverse. Le CO_2 capté au stockage est restitué au déstockage.



1.3 · Annexe I complétée (les quatre termes ajoutés sont en orange)

2.1.1 Pourquoi l'acide formique est-il un acide selon la théorie de Brönsted ?

Selon Brönsted, un acide est une espèce capable de céder un ion hydrogène H^+ (un proton). C'est le cas de l'acide formique, qui cède le proton de son groupe carboxyle :

$HCO_2H = HCO_2^- + H^+$: l'acide formique cède un proton, c'est un acide de Brönsted.

PIÈGE
C'est l'hydrogène lié à l'oxygène (groupe $-COOH$) qui est cédé, pas celui lié au carbone. Une définition sans la demi-équation du couple risque de ne pas rapporter tous les points.

2.1.2 Écrire l'équation de la réaction chimique à l'origine des brûlures.

L'acide formique réagit avec l'eau des tissus, qui joue le rôle de base (couple H_3O^+ / H_2O). L'acide étant faible, la transformation n'est pas totale :

$$HCO_2H\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_2^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

COMPRENDRE
Ce sont les ions oxonium H_3O^+ formés qui rendent le milieu acide et provoquent la brûlure. La double flèche traduit l'équilibre d'un acide faible ; une flèche simple serait réservée à un acide fort.

2.2.1 Quelle est l'espèce prédominante du couple acide formique / ion formiate dans l'estomac des tamanoirs ? Justifier.

Données utiles pH de l'estomac ≈ 2 ; $pK_A(HCO_2H\ /\ HCO_2^-) = 3{,}8$

Dans l'estomac, $pH \approx 2 < pK_A = 3{,}8$.

Or $pH = pK_A + \log\dfrac{[HCO_2^-]}{[HCO_2H]}$: si $pH < pK_A$, le logarithme est négatif, donc $[HCO_2H] > [HCO_2^-]$.

L'espèce prédominante est la forme acide, l'acide formique HCO_2H .

MÉTHODE
Tracer un axe de pH, placer le pK_A : la forme acide prédomine à gauche ($pH < pK_A$), la forme basique à droite. Il suffit ensuite de situer le pH du milieu.

2.2.2 La concentration en acide formique apporté dans l'estomac du tamanoir est-elle égale, inférieure ou supérieure à $10^{-2}\ mol\cdot L^{-1}$? Justifier.

Données utiles pH ≈ 2 ; pour un acide faible de concentration apportée c : $pH > -\log(c)$

L'acide formique est un acide faible, donc $pH > -\log(c)$, soit $\log(c) > -pH$.

La fonction $x \mapsto 10^x$ étant croissante : $c > 10^{-pH}$.

Avec $pH \approx 2$:

$c > 10^{-2}\ mol\cdot L^{-1}$: la concentration apportée est supérieure à $10^{-2}\ mol\cdot L^{-1}$.

PIÈGE
Oublier de changer le sens de l'inégalité en multipliant par -1, ce qui conduit à la conclusion inverse.

COMPRENDRE
Un acide fort de concentration $10^{-2}\ mol\cdot L^{-1}$ donnerait exactement $pH = 2$. L'acide formique ne réagit que partiellement avec l'eau : il en faut davantage pour obtenir autant d'ions H_3O^+.

2.2.3 Proposer une hypothèse justifiant le fait que les tamanoirs n'ont pas besoin de produire d'acide chlorhydrique pour leur digestion.

Le tamanoir avale jusqu'à 30 000 fourmis par jour, et ces fourmis contiennent de l'acide formique. Cet acide se retrouve dans l'estomac, où sa concentration peut dépasser $10^{-2}\ mol\cdot L^{-1}$ (question 2.2.2).

Hypothèse : l'acide formique apporté par les fourmis ingérées suffit à maintenir le pH de l'estomac voisin de 2 ; une production d'acide chlorhydrique est inutile.